

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-21550

(43)公開日 平成6年(1994)1月28日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H01S 3/108  
3/10

識別記号

庁内整理番号  
8934-4M  
C 8934-4M

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1(全5頁)

(21)出願番号 特願平4-200707

(22)出願日 平成4年(1992)7月3日

特許法第30条第1項適用申請有り 1992年5月31日~6月3日 社団法人日本分析化学会主催の「第53回分析化学討論会」において文書をもって発表

(71)出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

(72)発明者 今坂 藤太郎

福岡県福岡市中央区桜坂2丁目10番30号

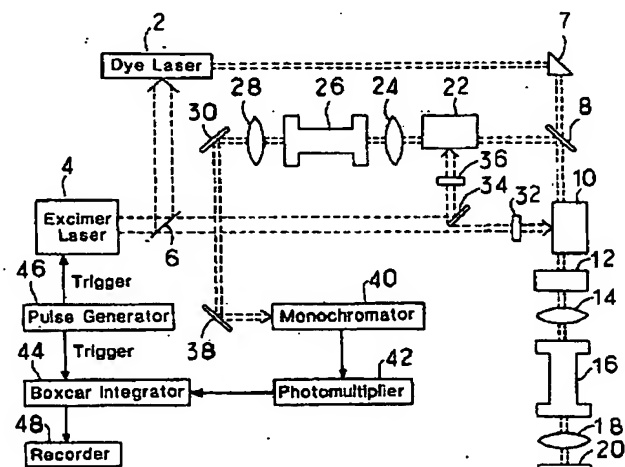
(74)代理人 弁理士 野口 繁雄

(54)【発明の名称】 多色・超短パルスレーザ装置

(57)【要約】

【目的】 気体をラマン媒体として用い、二色誘導ラマン効果により従来の限界を越える多色・超短パルス光を発生させる。

【構成】 色素レーザ2からの単一波長のレーザ光は、半透鏡8を経て半共振器に入射する。その半共振器には色素セル10、1/4波長板12、集光レンズ14、加圧水素が充填されたラマンセル16、集光レンズ18及び光軸に垂直に設けられた反射鏡20が光軸に沿って配置されている。ラマンセル16で回転ラマン光が発生し、色素セル10で増幅される。色素セル10で増幅された直線偏光のレーザ光は、色素セル22に入射し、色素セル22を通して更に増幅された後、集光レンズ24によりラマンセル26中の水素に集光させられ、ラマンセル26で多数の回転ラマン光が発生して多色・超短パルスレーザ光となる。



(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ラマン効果を起こす気体に二波長発振レーザ光を導入し、多数の回転ラマン光を同時に発生させ、発生した各発振光の位相同期により超短パルスレーザ光を発生させる装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、超高速光現象や非線形光学効果などの基礎的研究分野や、光通信や核融合など瞬間的に高い密度の光が要求される諸産業分野などに利用するのに適するパルスレーザ装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光パルス幅 $\Delta t$ とエネルギー幅、すなわちスペクトル幅 $\Delta \epsilon$ との間には、次の(1)式で示される不確定性原理が存在する。

$$\Delta t \cdot \Delta \epsilon \geq h / 2 \pi \quad (1)$$

ここで、 $h$ はプランクの定数である。短い光パルス( $\Delta t$ )の光を発生させるには、光エネルギー幅( $\Delta \epsilon$ )を大きくする必要がある。このため、短パルス光発生にはスペクトル幅の広いYAGレーザ、色素レーザ、チタンサファイアレーザなどが用いられている。超短パルス光を発生させるには、単にスペクトル幅が広いだけではなく、レーザ発振光の縦モードの位相を揃えること、すなわち位相同期することが必要である。位相同期のために、レーザ共振器中に周期的に損失を与える光学素子を挿入するのが普通である。その方式により、現在30fs( $fs = 10^{-15}s$ )程度の光パルスが得られている(Opt. Lett., 10, 131 (1985) 参照)。さらに短い光パルスを発生させるには、光ファイバと回折格子やプリズムからなる光圧縮装置が利用されている。そのような方式により、現在6fsの光パルスが得られている(Opt. Lett., 12, 483 (1987) 参照)。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 レーザ媒体又は光圧縮装置として固体又は液体を利用する限り、群速度分散(波長により光が進む速さに差が生じる現象)により、光パルスの幅が広がってしまう。通常、これを回折格子やプリズムで補正して短い光パルスを発生させるが、屈折率の波長依存性の3次の項まで補正して前述の6fsの光パルスが得られている。これを更に短パルス化するには、より高次の項まで補正する必要があるが、これを実現することは技術的に困難であり、また実現できてもパルス幅を大幅に短縮することは期待できない。また、その方式では多数の光学素子を利用するので、強いレーザ光を集光すると光学素子に損傷が起こる。したがって大出力レーザの短パルス化には適していない。

【0004】 一方、気体をレーザ媒体として短パルス光を発生する方法もあるが、一般に気体レーザは単色な光を出すので、あまり短パルス化は望めない。例えば、エ

2

キシマー(ガス)レーザは、比較的エネルギー幅(スペクトル幅)が広いことが知られているが、100fs程度の光パルスが得られているに過ぎない。したがって、従来の技術の延長では現在より短い光パルスを発生させることは困難である。本発明は気体をラマン媒体として用い、二色誘導ラマン効果により従来の限界を越える多色・超短パルス光を発生させることを目的とするものである。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明では、ラマン効果を起こす気体に二波長発振レーザ光を導入して多数の回転ラマン光を同時に発生させ、発生した各発振光の位相を同期させることにより超短パルスレーザ光を発生させる。

## 【0006】

【作用】 気体を媒体とするレーザは群速度分散によりパルス幅が広くなることはないが、一般に単色な光を出すので、超短パルス光を発生させるのに適していない。しかし、回転エネルギー分だけ周波数の異なる二波長発振レーザ光をラマン活性物質に集光すると、多数の回転ラマン光を同時に発生させることができる。例えば、ラマン物質としてオルソ水素を用いる場合には、各発振線は $587\text{cm}^{-1}$ (パラ水素の場合には $354\text{cm}^{-1}$ )の間隔で10本以上の発振線が得られるので、広いエネルギー範囲でレーザ発振線を得ることができる。これらの各発振線を位相同期することにより、超短パルス光が得られる。

## 【0007】

【実施例】 図1は一実施例のレーザ装置を概略的に表わしたものである。単一波長発振のレーザ光を出す光源として色素レーザ2が設けられ、色素レーザ2をポンピングするためにエキシマレーザ4が設けられている。エキシマレーザ4からのレーザ光の一部は石英板6で反射されて色素レーザ2に導かれている。色素レーザ2からのレーザ光はプリズム7で曲げられ、その光軸上には半透鏡8を経て半共振器が配置されている。その半共振器には色素セル10、1/4波長板12、集光レンズ14、加圧水素が充填されたラマンセル16、集光レンズ18及び光軸に垂直に設けられた反射鏡20が光軸に沿って配置されている。

【0008】 半透鏡8で反射された光の光軸上には、色素セル22、集光レンズ24、加圧水素が充填されたラマンセル26、集光レンズ28及び光軸に対して傾いて配置された反射鏡30が光軸に沿って配置されている。エキシマレーザ4からのレーザ光の一部は石英板6を透過し、そのうちの一部はシリンドリカルレンズ32を経て色素セル10に入射し、石英板6を透過したレーザ光の残りは反射鏡34で反射され、シリンドリカルレンズ36を経て色素セル22に入射している。

【0009】 反射鏡30で取り出されたレーザ光は反射

(3)

鏡38を経て分光器40に入射して分光され、光電子増倍管42で検出される。光電子増倍管42の検出信号はボックスカー積分器44で測定される。エキシマレーザ4とボックスカー積分器44を同期して動作させるために、パルス発生器46からトリガー信号が出力される。48はボックスカー積分器44の測定結果を記録する記録計である。光源のエキシマレーザ4ではフーリエ限界パルス（不確定性原理で決まる極限までエネルギー幅とパルス幅の両方を狭くした光パルス）の色素レーザを発振させる。単一光パルスを取り出すには、パルス幅が100fs程度以下であることが望ましい。

【0010】次に、本実施例の動作について説明する。色素レーザ2からの単一波長発振のレーザ光はプリズム7、半透鏡8を経て半共振器に注入される。半共振器では色素セル10で増幅され、1/4波長板12を通して円偏光となった後、ラマンセル16中の水素に集光されて回転ラマン光を発生する。基本波と回転ラマン光は反射鏡20で反射され、再びラマンセル16の水素に集光して回転ラマン光の効率が上げられる。ラマンセル16を透過した反射光は1/4波長板12を通して直線偏光となり、色素セル10で更に増幅される。色素セル10で増幅された直線偏光のレーザ光は、半透鏡8で一部反射して色素セル22に入射し、色素セル22を通して更に増幅された後、集光レンズ24によりラマンセル26中の水素に集光させられる。ラマンセル26では多数の回転ラマン光が発生し、多色レーザ光が得られる。このとき、基本波と回転ラマン光の位相が一致したところで多色レーザ光の位相が固定され、超短パルスレーザ光となる。発生した多色レーザ光は集光レンズ28、反射鏡30、38を経て分光器40に入射し、光電子増倍管42で検出される。

【0011】実施例では単一発振波長のレーザ光が1/4波長板12を通して円偏光になり、ラマンセル16の加圧水素を通過させることにより1本の回転ラマン光が発生する。反射鏡20で反射させて再度1/4波長板12を通して直線偏光に戻した後、基本波と回転ラマン光の二波長発振レーザ光が再度ラマンセル26の加圧水素に集光されることにより、多数の回転誘導ラマン光が発生する。このように、円偏光と直線偏光を使い分けるのは、それぞれ回転ラマン現象と四波混合現象（多数の回転ラマン線を発生する現象）を効率よく起こすためである。位相同期はラマンセル26で行なわれる。ここでは二波長発振レーザ光を導入することにより位相同期（強制位相同期）を行なわせているが、非線形光学効果により直接位相同期（自己位相同期）を行なわせるようにしてもよい。

【0012】この実施例により発生した多色レーザ光のスペクトルを図2に示す。このスペクトルでは11本以上の回転ラマン光が同時に得られ、そのエネルギー幅は5870cm<sup>-1</sup>に及んでいる。

【0013】図3はこのスペクトルをフーリエ変換したものであり、縦軸は発光強度、横軸は時間である。これによりどの程度の幅の光パルスが得られるかがわかるが、この結果では6fs程度の光パルスが得られる。

【0014】実施例では多色レーザ光発生装置は色素レーザを光源に用いているが、これは波長を自由に変化させるためであり、エキシマレーザやガラスレーザなどの波長固定レーザを光源に用いてもよい。しかし、その場合には発振波長を微細に変化させることはできない。励起光の強度が大きい場合には、実施例のように円偏光と直線偏光を使い分けて効率を上げる必要はない。したがって、初めから楕円偏光を用いて多数の回転ラマン光を直接発生させてもよい。

【0015】単一の光パルスを得るには励起光源として100fs程度のフーリエ限界パルスを用いるが、これより広いパルス幅のレーザを光源として用いてもよい。その場合には周期的にパルス（パルス列）が生じる。実施例では回転ラマン光発生を利用しているが、これは励起光として必要なフーリエ限界パルスを得やすいためであり、振動ラマン光を利用してもよい。その場合にはフーリエ限界パルスの条件がより厳密に要求されるが、さらに短い光パルスの発生が可能となる。その場合に、単一パルス光を得るには、最初に用いる入射レーザパルスを予め10fs程度まで狭くしておく必要がある。なお軟X線領域で電子遷移を利用するラマン効果と四波混合を用いれば、アト秒（as；1as=10<sup>-18</sup>s）の光パルスを発生させることも可能である。

【0016】導入するレーザ光はラマン物質の回転あるいは振動ラマン遷移に相当するエネルギー差の二波長発振レーザ光を用いているが、この整数分の1のエネルギー差の周波数間隔を有する多波長発振レーザを光源として用いてもよい。その場合にはパルス列の間隔が整数倍広がるため、パルス圧縮率が高くなる。ラマン媒体として実施例では水素を用いているが、これは効率が最も高いためである。発振線やパルス列の間隔を調整するなどの目的のため、他のラマン物質を用いてもよい。また、水素についても、通常のオルソ水素の他、パラ水素を用いてもよい。その場合にはパルス列の間隔がより広くなり、単一の光パルスを取り出す上で有利である。しかし、パラ水素を製造するための低温装置が必要になる。

【0017】

【発明の効果】本発明のレーザ装置ではレーザ物質として気体を用いているので、群速度分散がなく、パルスの広がりを補正する必要がない。そのため、固体レーザにおける短パルス光発生の限界を越えることができる。エネルギー幅、すなわち回転ラマン光の本数は励起光強度により決まるので、励起光強度を大きくすることにより、さらに短パルス光の発生が可能である。したがって1fs以下の光パルスを発生することもできる。超短パルス光の波長領域は、初めに導入するレーザにより決ま

(4)

5

るので、任意波長の超短パルス光を得ることができる。特にラマン物質として水素を用いる場合には、真空紫外領域において超短パルス光を発生することもできる。エネルギー幅をより大きくするには、光エネルギーそのものを大きくしておく必要があり、真空紫外光を用いればより短い光パルスの発生が可能となる。多波長発振レーザーを使用する場合には、光パルスの圧縮率を大きくすることができる。したがって、充分大きな出力のレーザー光を用いれば、1 ns のレーザーパルス光を 1 fs のレーザーパルス光へと一挙に 100 万倍も圧縮することが可能になる。超短パルス光発生の際に光学素子を全く用いない。したがって、光学部品への光損傷を懸念する必要がない。また、レーザー出力が大きくなった場合は、単にレーザービーム径を大きくすればよいので、核融合用の巨大レーザーにも適用することができる。

6

【図面の簡単な説明】

【図1】一実施例を示す概略構成図である。

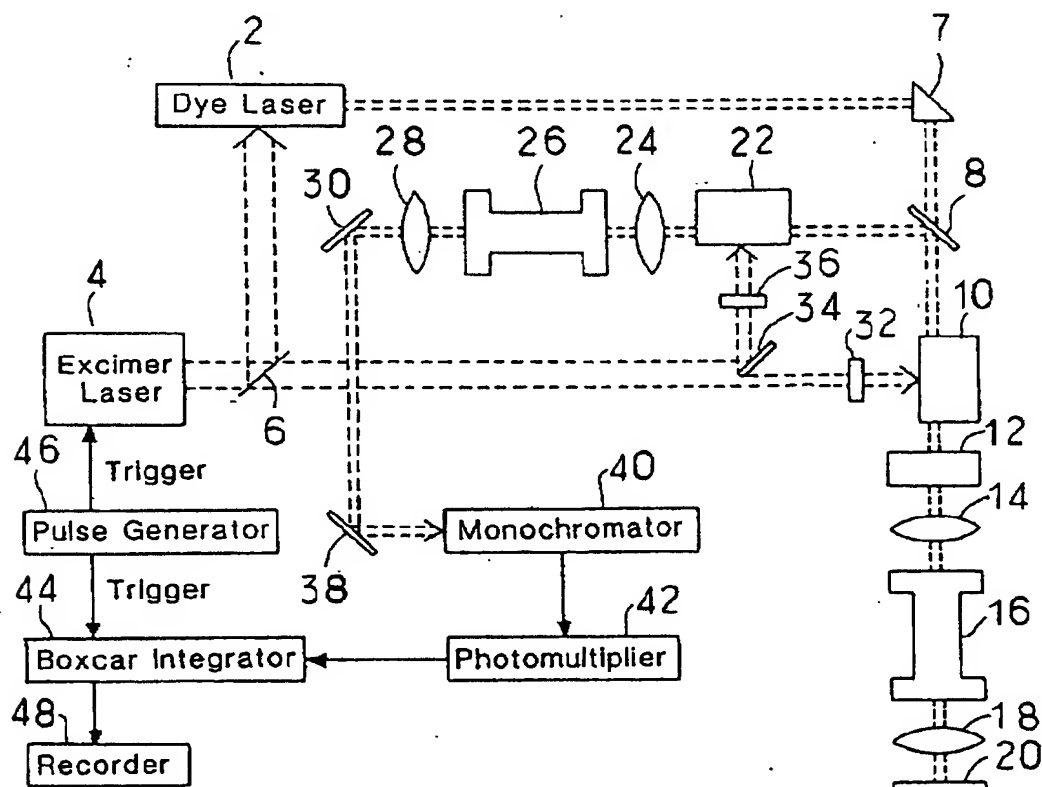
【図2】一実施例により発生する多色レーザー光のスペクトルを示す図である。

【図3】図2のスペクトルをフーリエ変換した結果を示す図である。

【符号の説明】

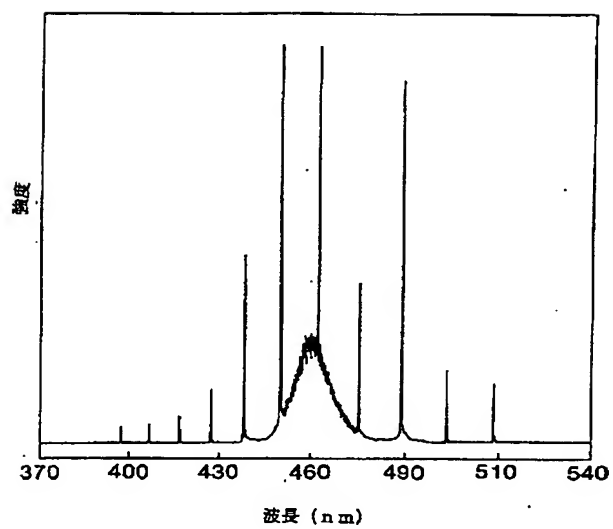
2	色素レーザー
4	エキシマーレーザー
10, 22	色素セル
12	1/4波長板
14, 18, 24, 28	集光レンズ
16, 26	ラマンセル
20, 30	反射鏡

【図1】



(5)

【図2】



【図3】

